

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KHE HỖ GIỮA ĐỈNH CÁNH ĐỘNG VÀ VỎ TUABIN TĂNG ÁP ĐẾN MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG TÁC CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL**  
**A STUDY ON THE RADIAL CLEARANCE BETWEEN THE WHEEL OF TURBOCHARGER AND CASE ON THE OPERATING SOME PARAMETERS OF DIESEL ENGINE**

TS. NGUYỄN HỒNG PHÚC  
Trung tâm CNPM, Trường ĐHHH

**Tóm tắt:**

Khe hở giữa đỉnh cánh động và vỏ tuabin tăng áp động cơ diesel dạng dọc trục là thông số cần được quan tâm khi thiết kế tuabin cũng như khi tháo lắp tuabin để bảo dưỡng. Khe hở này bị thay đổi sẽ ảnh hưởng đáng kể các thông số công tác của tuabin máy nén và động cơ diesel. Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của khe hở giữa đỉnh cánh động và vỏ tuabin tăng áp động cơ diesel dạng dọc trục đến một số thông số công tác của động cơ Diesel.

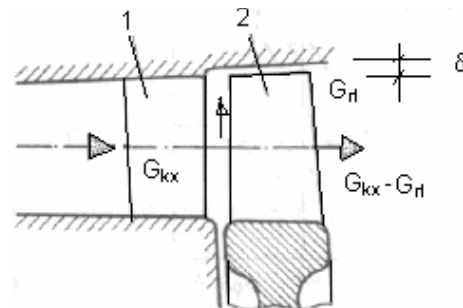
**Abstract:**

The radial clearance between a wheel of turbocharger and case is the parameter which requires attention at the designing time as well as disassembling, assembling of turbocharger in repairing, because its change will affect article the operating parameters of turbocharger, air compressor and diesel engine. This article studies an influence of the radial clearance between a wheel of turbocharger and case on the operating some parameters of diesel engine.

**1. Đặt vấn đề**

Khe hở giữa đỉnh cánh động và vỏ tuabin tăng áp động cơ diesel dạng dọc trục có thể là bị tăng lên do các chi tiết bị mòn, hoặc cũng có thể do một vài lý do nào đó trong khi lắp ráp. Khi khe hở giữa đỉnh cánh động và vỏ tuabin tăng áp động cơ diesel tăng thì mất mát lưu lượng khí xả tăng do rò lọt qua khe hở dẫn đến làm giảm công suất và hiệu suất của tuabin. Mặt khác khi lựa chọn máy nén gió tăng áp cho động cơ diesel thì điểm phối hợp làm việc trên đặc tính máy nén gió giữa máy nén với đặc tính thủy động của động cơ ở tải định mức là nằm ở khu vực có hiệu suất cao, và khi phụ tải động cơ thay đổi thì điểm làm việc trên đường đặc tính thủy lực của động cơ thường chạy trên vùng có hiệu suất cao của máy nén gió, nhưng khi khe hở đỉnh cánh tuabin tăng áp tăng lên thì công suất tuabin giảm nên công suất truyền dẫn cho máy nén cũng giảm theo, dẫn đến nhiệt độ không khí sau máy nén và áp suất tăng áp của máy nén giảm đi, do vậy điểm làm việc của máy nén gió chuyển dịch xuống nơi có hiệu suất thấp. Khai thác động cơ ở các chế độ có hiệu suất máy nén gió thấp thì các thông số công tác của động cơ thay đổi theo chiều hướng xấu đi, vấn đề khai thác động cơ với hiệu suất máy nén thay đổi đã được nghiên cứu ở tài liệu [3].

Nghiên cứu ảnh hưởng của khe hở giữa đỉnh cánh động và vỏ tuabin tăng áp động cơ diesel dạng dọc trục đến một số thông số công tác của động cơ Diesel đã được các nhà nghiên cứu khi thiết kế và chế tạo tuabin tăng áp, nhưng trong khai thác tuabin tăng áp cho động cơ diesel thì ở Việt Nam chưa được chú ý một cách đúng mức. Bởi vậy, bài báo này trình bày để đọc giả thấy được sự ảnh hưởng của khe hở đến các thông số công tác động cơ diesel cũng như ảnh hưởng



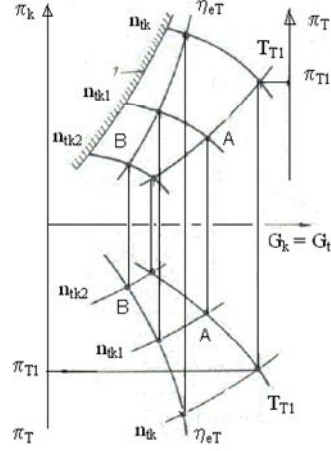
**Hình 1. Tuabin máy nén loại VTR.**

- 1- Cánh ống phun;
- 2- Cánh động của tua bin;
- 3- δ khe hở giữa đỉnh cánh với vỏ tuabin

tới tính kinh tế trong khai thác động cơ mà có quan điểm đúng và cần phải lưu ý trong khai thác và sửa chữa.

## 2. Phân tích sự thay đổi các thông số công tác tuabin-máy nén-động cơ diesel khi thay đổi độ lớn khe hở

Khi xả đi vào tuabin tăng áp giả sử với lưu lượng  $G_{kx}$  thì một phần  $G_{rl}$  đi qua khe hở và một phần lớn  $G_{kx} - G_{rl}$  đi qua cánh tuabin để sinh công (hình 1). Khi khe hở  $\delta$  giữa đỉnh cánh động và vỏ tuabin tăng áp động cơ diesel dạng dọc trục tăng lên thì lượng khí xả đi qua khe hở  $G_{rl}$  tăng lên, do vậy mà lượng khí xả đi qua cánh động tuabin giảm đi vì thế mà hiệu suất và công suất tuabin tăng áp giảm xuống. Khi công suất tuabin giảm thì công suất máy nén gió tăng áp bị giảm theo, như vậy áp suất gió tăng áp và nhiệt độ không khí tăng áp sau máy nén bị giảm, hiệu suất máy nén giảm nên làm cho lượng không khí cấp vào động cơ giảm, nếu mà lượng nhiên liệu tiêu thụ cho động cơ không thay đổi thì lúc này động cơ diesel làm việc với hệ số dư lượng không khí thấp. Nếu thời điểm phun nhiên liệu, lượng nhiên liệu cung cấp cho chu trình và tình trạng của hệ thống nhiên liệu không thay đổi thì với áp suất gió tăng áp thấp chất lượng hòa trộn nhiên liệu và không khí sẽ kém nên nhiên liệu cháy chậm đi, quá trình cháy của nhiên liệu trong xilanh động cơ xấu đi, cụ thể là thời gian trì hoãn sự cháy xảy ra kéo dài, góc kết thúc quá trình cháy tăng lên, quá trình cháy rút kéo dài và thời gian cháy toàn bộ lượng nhiên liệu cung cấp cho 01 chu trình sẽ tăng lên, áp suất cháy cực đại giảm do áp suất gió tăng áp giảm, công suất có ích của động cơ giảm xuống. Muốn để động cơ diesel sản ra công suất có ích như trước thì cần phải cung cấp thêm một lượng nhiên liệu như vậy gây ra sự tổn kém về kinh tế, hơn nữa nhiệt độ khí xả sẽ tăng lên gây tăng ứng suất nhiệt cho động cơ.



Hình 2. Sự thay đổi điểm làm việc trên đặc tính máy nén và tuabin tăng áp.

- A- Điểm làm việc khe hở  $\delta_1$ ;
- B- Điểm làm việc khe hở  $\delta_2$ .

Giả sử ban đầu khe hở đỉnh cánh tuabin là  $\delta_1$  và điểm làm việc trên đặc tính máy nén và tuabin là điểm A (trên hình 2) với nhiệt độ khí xả là  $T_{T1}$ , vòng quay tuabin  $n_{tk1}$ , khi khe hở tăng lên tới  $\delta_2$  lớn hơn thì điểm làm việc dịch chuyển sang điểm B với nhiệt độ khí xả tăng, vòng quay tuabin giảm xuống  $n_{tk2}$ , điểm B trên đặc tính máy nén gần đường giới hạn không ổn định 1.

## 3. Một số công thức dùng trong tính toán

Suất tiêu hao khí xả qua cánh động:

$$G_g = G_{kx} - G_{rl} \quad (1)$$

Công suất của khí xả sinh ra trên cánh động tuabin tăng áp:

$$P = u \cdot [(G_{kx} - G_{rl})C_1 \cdot \cos \alpha_1 + (G_{kx} - G_{rl})C_2 \cdot \cos \alpha_2] \quad (2)$$

Hiệu suất trên cánh động tuabin tăng áp:

$$\eta_{cd} = \frac{u \cdot [(G_{kx} - G_{rl})C_1 \cdot \cos \alpha_1 + (G_{kx} - G_{rl})C_2 \cdot \cos \alpha_2]}{G_{kx} \cdot E_0} \quad (3)$$

$$\eta_{cd} = \frac{u}{E_0} \cdot \left[ \left(1 - \frac{G_{rl}}{G_{kx}}\right) C_1 \cdot \cos \alpha_1 + \left(1 - \frac{G_{rl}}{G_{kx}}\right) C_2 \cdot \cos \alpha_2 \right] \quad (4)$$

Từ (4) ta có:

$$\eta_{cd} = \frac{u}{E_0} \cdot \left[ (C_1 \cdot \cos \alpha_1 + C_2 \cdot \cos \alpha_2) \left(1 - \frac{G_{rl}}{G_{kx}}\right) \right] \quad (5)$$

Thay  $E_0 = \frac{C_{11}^2 - C_2^2 + W_{21}^2 - W_{11}^2}{2}$  vào (5)

Ta có 
$$\eta'_{cd} = \eta_{cd} \left( 1 - \frac{G_{r1}}{G_{kx}} \right) \quad (6)$$

Suất tiêu hao khí xả qua khe hở cánh động  $G_{r1}$  được tính như sau:

$$G_{r1} = \frac{\pi \cdot \delta \cdot d_2 \cdot \mu_{r1} \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot h_0 + w_1^2}}{v_2} \quad (7)$$

Như vậy

$$\frac{G_{r1}}{G_{kx}} = \frac{\delta \cdot d_2 \cdot \mu_{r1}}{\mu_2 \cdot d \cdot l \cdot \sin \beta_2 + \delta \cdot d \cdot \mu_{r1}} \approx \frac{\delta'}{l \cdot \sin \beta_2} \quad (8)$$

Với 
$$\delta' = \frac{\mu_{r1} \cdot d_2 \cdot \delta}{\mu_2 \cdot d} \quad (9)$$

Hiệu suất của tuabin khi khe hở đỉnh cánh thay đổi:

$$\eta_{cd2} = \eta_{cd1} \left( \frac{1 - \frac{G_{r12}}{G_{kx}}}{1 - \frac{G_{r11}}{G_{kx}}} \right) \quad (10)$$

Công suất do tuabin tăng áp sản ra:

$$N_{tb} = G_g \cdot R_g \cdot \frac{k_g}{k_g - 1} \cdot T_{kx} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_{stb}}{P_{kx}} \right)^{\frac{k_g - 1}{k_g}} \right] \cdot \eta_{tb} \quad (11)$$

Trong truyền năng lượng giữa tuabin và máy nén tăng áp ta có:

$$N_{mn} = N_{tb} \quad (12)$$

Áp suất không khí tăng áp sau máy nén:

$$P_k = \left[ N_{tb} \cdot \frac{k-1}{k} \cdot \frac{\eta_{mn}}{G_{kk} \cdot R_{kk} \cdot T_0} + 1 \right]^{\frac{k}{k-1}} \cdot P_0 \quad (13)$$

Nhiệt độ không khí tăng áp sau máy nén:

$$T_k = N_{tb} \cdot \frac{k-1}{k} \cdot \frac{1}{G_{kk} \cdot R_{kk}} + T_0 \quad (14)$$

Với  $R_{kk} = 0,2871$  [kJ/kg.K];  $R_g = 0,2864$  [kJ/kg.K];  $k = 1,4$ ;  $k_g = 1,34$ .

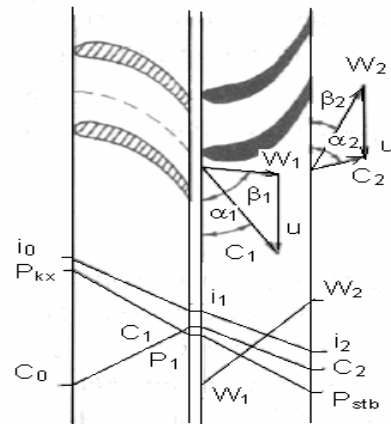
$\delta$ - độ lớn khe hở [mm];  $N_{tb}$ ,  $N_{mn}$ - công suất của tuabin, máy nén gió tăng áp, [kW];

$\mu_{r1}$ ,  $\mu_2$ - hệ số lưu lượng của khí xả đi qua khe hở và qua cánh động của tuabin;

$R_{kk}$ ,  $R_{kk}$ - hằng số của khí xả, không khí, [kJ/kg.K];  $k_{kx}$ ,  $k$ - chỉ số đoạn nhiệt của khí xả, không khí;

$T_{kx}$ - nhiệt độ khí xả trước tuabin, [K];  $P_{kx}$ ,  $P_{stb}$ - áp suất khí xả trước và sau tuabin, [kPa];

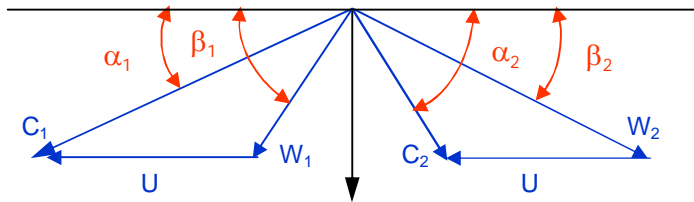
$P_0$ ,  $T_0$ - áp suất và nhiệt độ môi trường, [kPa], [K];  $\pi_{mn}$ - tỉ số tăng áp suất của máy nén gió;



**Hình 3. Sự thay đổi các thông số của dòng khí trong ống phun và cánh động tuabin hướng trục (tuabin phản kích)**

$P$ - áp suất;  $i$ - entanpi;  $w$ - tốc độ vòng;  $W$ ,  $C$ - tốc độ tương đối, tuyệt đối;  $\alpha$ ,  $\beta$ - góc nghiêng của tốc độ  $W$ ,  $C$  khi ra khỏi ống phun và cánh động

$\eta_{tb}$ ,  $\eta_{mn}$ - hiệu suất của tuabin, máy nén;  $G_{kx}$ - suất tiêu hao khí xả qua tuabin, [kg/s];  
 $G_{r1}$ ,  $G_{r11}$ ,  $G_{r12}$  - suất tiêu hao khí xả qua khe hở đỉnh cánh tuabin với khe hở  $\delta$  bất kỳ,  $\delta_1$  và  $\delta_2$ , [kg/s];  
 $G_{kk}$ - suất tiêu hao không khí qua máy nén, [kg/s];  
 Các thông số của dòng khí xả trên ống phun và cánh động tuabin tăng áp được biểu thị trên hình 3 và hình 4.



Hình 4. Tam giác tốc độ trên cánh động.

#### 4. Kết quả tính toán

Kết quả nghiên cứu bằng tính toán trên động cơ Diesel 3AL25/30 lai máy phát điện của hãng Sulzer tăng áp tuabin khí xả loại VTR-160N, ví dụ khi thay đổi hiệu suất máy nén từ 0,668 xuống còn 0,661 tức giảm đi 1% [3] thì suất tiêu hao nhiên liệu  $g_e$  tăng 0,05%, áp suất tăng áp  $P_k$  giảm 1,74% và nhiệt độ khí xả  $T_{kx}$  tăng lên 0,24% như trình bày trong bảng 1.

Kết quả đã được nghiên cứu trong vùng tỉ số tăng áp suất  $\pi_k < 1,5$  [7], khi giảm hiệu suất máy nén gió tăng áp  $\eta_{mn}$  đi 1% tỉ số tăng áp suất không khí tăng áp  $\pi_k$  giảm (0,4÷0,45)%, nhiệt độ khí xả  $T_{kx}$  tăng (0,6÷0,7)% và suất tiêu hao nhiên liệu  $g_e$  tăng (0,2÷0,3)%.

Bảng 1. Thông số khi hiệu suất giảm.

Ký hiệu	Giá trị tính		% tăng giảm
$\eta_{mn}$ [-]	0,668	0,661	-1,00
$g_e$ [g/kW.h]	192,4	192,5	0,05
$P_k$ [Kpa]	216,4	212,7	-1,74
$T_{kx}$ [K]	815	817	0,24

#### 5. Khe hở hướng kính chuẩn của một số loại tuabin tăng áp

Ví dụ khe hở hướng kính chuẩn của một số loại tuabin tăng áp được ghi trong bảng 2.

Bảng 2. Khe hở hướng kính của một số loại tuabin tăng áp.

Tuabin	Khe hở đỉnh cánh [mm]	Tuabin	Khe hở đỉnh cánh [mm]
PDH-16N	0,6÷1,2	TL-640	1,6÷2,1
PDH-35N	0,7÷1,4	VTX-150	0,28÷0,35
PDH-50N	1,0÷2,1	VTR-200	0,27÷0,35
TK-23	0,5÷0,6	VTR-250	0,37÷0,45
TK-30	0,75÷0,85	VTR-320	0,6÷0,7
TKP-18	0,5÷1,1	VTR-400	0,75÷0,85
RT-67	1,2÷1,3	VTR-500	0,9÷1,1
YTV-656	1,6÷2,0	VTR-630	1,12÷1,38
TV-622	0,7÷0,8	VTR-750	1,28÷1,53
TL-430	1,6÷2,1	ATL-6	0,4÷0,5
TL-540	1,6÷2,1	ATL-7	0,4÷0,5

---

## **6. Kết luận**

1. Khe hở hướng kính tăng sẽ làm cho các thông số công tác của tuabin tăng áp-máy nén-động cơ diesel kém đi, lượng tiêu thụ nhiên liệu cho động cơ tăng lên.

2. Để làm giảm ảnh hưởng xấu do khe hở tăng thì khe hở này phải được lưu ý khi bảo dưỡng tuabin, nếu cần thiết phải thay một số chi tiết để duy trì khe hở trong giới hạn được ghi trong các tài liệu hướng dẫn sử dụng tuabin tăng áp.

3. Khi động cơ phải làm việc với khe hở hướng kính của tuabin tăng áp lớn hơn bình thường cần tăng cường kiểm tra quan sát động cơ khi hoạt động vì động cơ diesel hoạt động với các thông số công tác kém như nhiệt độ khí xả tăng và máy nén gió tăng áp làm việc gần khu vực không ổn định (hình 2).

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO:**

- [1]. Lê Viết Lượng, “*Lý thuyết động cơ diezen*”, Nhà xuất bản giáo dục, 2000.
- [2]. GS. TS. Phạm Lương Tuệ, “*Tuabin hơi nước-Lý thuyết và cấu tạo*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà nội, 2005.
- [3]. TS. Nguyễn Hồng Phúc, “*Ảnh hưởng của hiệu suất máy nén gió tăng áp đến một số thông số công tác của động cơ diesel*”, Tạp chí Giao thông Vận tải, Hà nội, 11/2006.
- [4]. Tài liệu tuabin tăng áp VTR hãng Brown Boveri.
- [5]. Võ Nghĩa, Lê Anh Tuấn, “*Tăng áp động cơ đốt trong*”, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật - Hà nội, 2005.
- [6]. А. Д. Межеричкий, “*Турбокомпрессоры судовых дизелей*”, Ленинград, 1971.
- [7]. Б. М. Рогалев, Ю. И. Смомин, “*Эксплуатация и ремонт газотурбонагнетателей судовых дизелей*”, москва, 1975.
- [8]. П. С. Поррулис, В. Г. Перфилов, “*Турбокомпрессоры тепловозных двигателей*”, москва, 1965.
- [9]. Włodarski J. K, “*Stany eksploatacyjne okrętowych silników spalinowych*”, Gdynia, 1998.

---

**Người phản biện: GS. TS Lê Viết Lượng**